



# Compostage et méthanisation en régions chaudes.

J-Luc Farinet

CIRAD

UR Recyclage et risque

Montpellier - FRANCE

CO<sub>2</sub>

CH<sub>4</sub>

# Sommaire

- Rappel: les voies de transformation des déchets organiques
- La méthanisation
- Le compostage
- Exemples d'application :
  - méthanisation d'effluents d'huilerie de palme
  - compostage des déchets bananiers

# Les voies de transformation des déchets organiques

## ○ Généralités

- La transformation ou valorisation des déchets organiques remplace leur élimination; leur mise en décharge est maintenant prohibée (risques de pollution et d'émission de GES).
- Des valorisations matière ou pour l'alimentation animale existent de longue date pour certains déchets organiques (pailles, copeaux, drèches, mélasses,...).
- Pour les autres déchets, la valorisation énergétique ou le recyclage agricole s'imposent avec des contraintes environnementales de plus en plus sévères.

# Les voies de transformation des déchets organiques

## ○ Valorisations énergétiques

- La voie humide, avec les fermentations au sens large, est la seule voie de valorisation énergétique des déchets organiques qui permette un recyclage agricole, à l'opposé des filières thermochimiques.
- En régions chaudes, la voie humide est à privilégier compte tenu :
  - Des températures élevées favorables aux fermentations,
  - De la nécessité du recyclage de matière organique pour les sols soumis à une intense minéralisation.

# Les voies de transformation des déchets organiques

- Valorisations énergétiques
  - 2 types de fermentation possibles pour produire de l'énergie à partir des déchets organiques :
    - la fermentation alcoolique (éthanol)
    - la digestion anaérobie ou méthanisation (méthane)
  - Ces 2 fermentations donnent lieu à un résidu encore riche en matières organiques et minérales et susceptible d'être recyclé en agriculture.

# Les processus anaérobie et aérobie

- en absence totale d'oxygène
- Méthanisation ou digestion anaérobie en réacteur fermé
- Auto-combustion du carbone :



Exothermie

Energie

- en présence d'oxygène
- Compostage à l'air libre ou en réacteur ouvert
- Oxydation du carbone :



Exothermie

# La méthanisation

- Objectifs : production de gaz méthane ( $\text{CH}_4$ ), stabilisation et hygiénisation partielle des déchets organiques.
- Domaines d'application :
  - Valorisation des effluents liquides chargés en matière organique ( $> 5000 \text{ mg DCO/l}$  et  $< 15\% \text{ MS}$ ) par exemple : vinasses, lisiers, boues d'épuration,...
  - Valorisation des déchets organiques solides (15 à 50% MS) par exemple : fumier, FFOM, pulpe/épluchures, matières stercoraires,...
- Actuellement en pleine croissance avec de gros efforts de R&D en Europe.

# La méthanisation

## ○ En Europe (2010) :

- Energie primaire produite : 8 350 ktep
  - électricité : 25,1 TWh
  - chaleur : 141 ktep

## ○ En France (2011) :

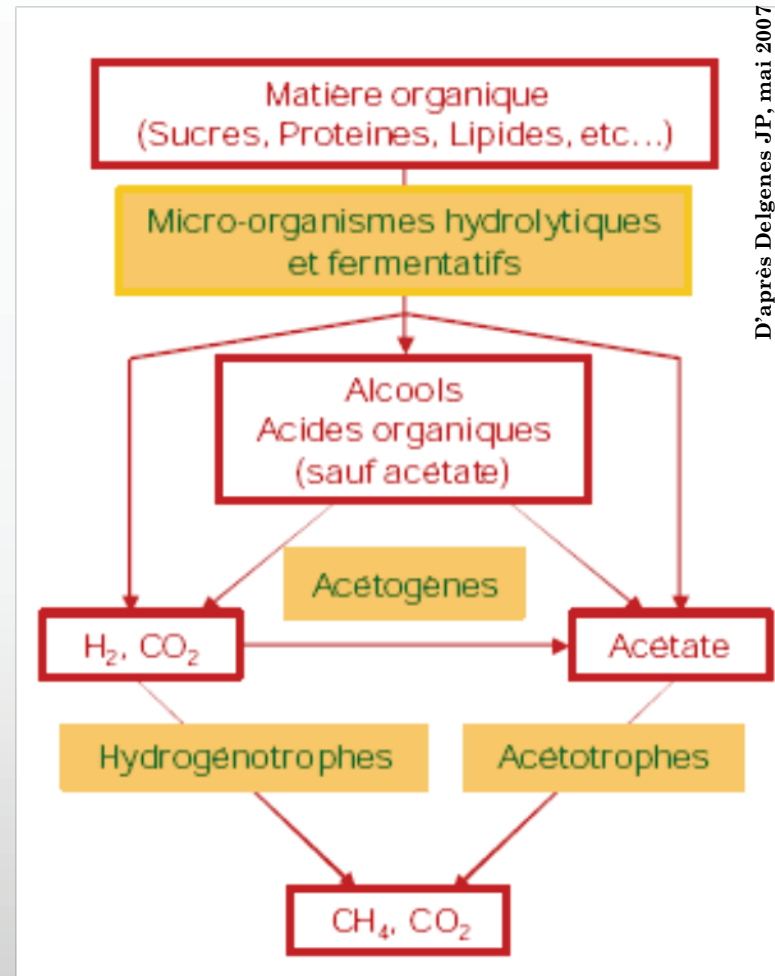
- 200 installations dont 70% dans l'industrie et les stations d'épuration
- Energie primaire produite : 148 ktep
  - électricité : 0,24 TWh
  - chaleur : 80 ktep



# La méthanisation

## ○ Principe

- fermentation en 3 étapes
- flore bactérienne mixte en équilibre
- théoriquement :
  - $0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg DCO}$
  - Maxi  $1,10 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg MO}$



# La méthanisation

## ○ Conditions opératoires

- Taux d'humidité des déchets > 50% (généralement > 65%)
- Température : psychrophile (< 30°C), mésophile (30 à 40°C) ou thermophile (50 à 65°C)
- pH proche de la neutralité ; alcalinité > 1000 mg/l ( $\text{CaCO}_3$ )
- Potentiel Oxydo Réduction < -200 mV
- Nutriments : N, P + oligoéléments
- Charge appliquée et temps de séjour :
  - 0,5 à 40 kg DCO/m<sup>3</sup>.j soit 120 à 1 j pour les effluents liquides
  - 1 à 10 kg MO/m<sup>3</sup>.j soit 55 à 15 j pour les déchets solides

# La méthanisation

## ○ Technologies

- Sur les effluents liquides (< 15% MS)
  - Pas de prétraitement
  - Mono ou biphasée
  - Biomasse libre ou fixée
- Sur les déchets solides
  - Parfois un prétraitement
  - Digestion dite « sèche » (20-35% MS)
    - Discontinue en cuve
    - Continue en réacteur piston



# La méthanisation

## ○ Produit principal: le biogaz

- 50 à 75% de méthane, selon les déchets traités et le régime de fermentation
- 25 à 50% de  $\text{CO}_2$  , traces  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$  ,...
- Pouvoir calorifique (PCI) : 4250 à 6400 kcal/m<sup>3</sup>
- 1 m<sup>3</sup> biogaz  $\approx$  0,5 l gasoil  $\approx$  0,8 kg charbon  $\approx$  0,5 kg butane
- Utilisation : à l'état brut si peu d' $\text{H}_2\text{S}$  :
  - Combustible pour la production d'énergie thermique
  - Biocarburant pour l'alimentation de moteurs ou turbines

# La méthanisation

## ○ Un co-produit : le digestat

- Parfois utilisé directement comme engrais organique (déjections animales) ou aliment piscicole (Asie).
- Plus souvent séparé en :
  - une fraction solide qui devra subir une maturation aérobie pendant 1 à 3 mois pour devenir un compost.
  - une fraction liquide, recyclée en tête ou pour la maturation mais dont l'excédent doit être épandu ou épuré en cas de rejet.

# La méthanisation

## ○ Performances

Déchets/Effluents	Rendement (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MO)	Energie (kWh/t)	Compost (t/t)
Vinasse de mélasse	220 (sur DCO)	126	1,0 (dig.)
Lisier de porcs	300	120	1,0 (dig.)
Pelures de manioc	380	107	0,20
Pulpe de café	140	170	0,24
FFOM (biodéchets)	200-300	450-700	0,30
Matières stercoraires	150-200	220-300	0,12

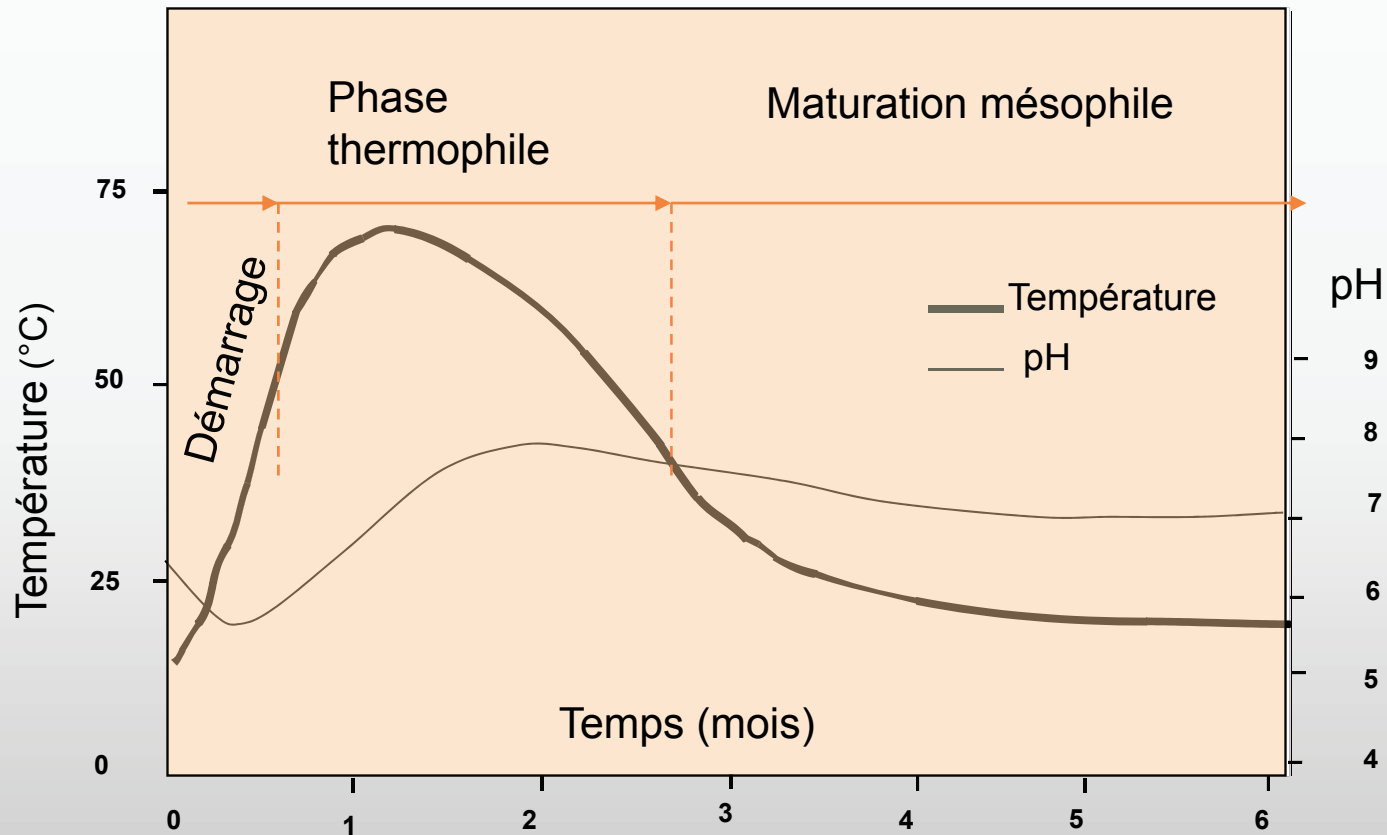
# Le compostage

- **Définition** : fermentation aérobie des déchets organiques qui engendre une minéralisation et une réorganisation du carbone et de l'azote.
- **Objectifs** : réduction de la masse des déchets, stabilisation des composés organiques, concentration des minéraux, hygiénisation.
- **Domaines d'application** :
  - Valorisation des déchets organiques solides
  - Co-valorisation possible liquide/solide après une imprégnation
- **Filière en forte croissance ces dernières années en Europe avec une réglementation de plus en plus contraignante.**

# Le compostage

## ○ Principe

- Processus en 3 phases consécutives caractérisées par l'évolution de la température et du pH





# Le compostage

## ○ Conditions opératoires

- Taux d'humidité des déchets de 55 à 70%
- Température : issue d'un équilibre avec le milieu extérieur, c'est un indicateur du compostage ; jusqu'à 75°C en phase thermophile
- pH proche de la neutralité au départ
- C/N : 20 à 70 ; optimal à 30-35 au départ
- Taux  $O_2 > 5\%$  soit un volume d'espaces lacunaires minimum de 35-40% (matériaux structurants)

# Le compostage

## ○ Technologies :

- Extensive, en andains retournés
- Intensive à aération forcée
- En réacteur industriel



## ○ En amont : tri, broyage, mélange,...

## ○ En aval : criblage, épierrage, ensachage...

# Les techniques de compostage

## ○ Un produit : le compost

- Qualité variable en fonction des déchets de départ et de la durée de maturation :
  - Produit riche en éléments fertilisants et peu mûré sera plutôt utilisé comme fertilisant et amendement en grandes cultures,
  - Produit plus pauvre mais très mûr pourra être utilisé comme support de culture en pépinières ou en horticulture.
- En général : pertes d'azote (20 à 50%), conservation du phosphore, du calcium et du magnésium, peu de pertes de potassium si on évite la lixiviation.

# Exemple d'application : méthanisation des effluents d'huilerie de palme



$\text{CO}_2$

$\text{CH}_4$

# Méthanisation des effluents d'huilerie

- Effluent très chargé en MO,
- Traité par lagunage anaérobie à ciel ouvert,
- Concoure à la mauvaise image du palmier.



# Méthanisation des effluents d'huilerie

- Quantité produite:
  - 0,7 m<sup>3</sup>/tonne régimes
  - 3,5 m<sup>3</sup>/tonne huile brute
- Charge organique:
  - 60 à 75 kg DCO/m<sup>3</sup>
- Capture de 1 m<sup>3</sup> biogaz sur les lagunes évite l'émission de:
  - 0,3 kg CH<sub>4</sub>
  - 1,4 10<sup>-4</sup> kg N<sub>2</sub>O
  - 6,4 kg eq. CO<sub>2</sub>
- Potentiel énergétique (net) :
  - 14,2 à 17,5 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> effluent

# Méthanisation des effluents d'huilerie

- Utilisation du biogaz en cogénération:
  - 1 m<sup>3</sup> biogaz : 0,56 l diesel équivalent  
1,5 kg CO<sub>2</sub> eq
- Réduction totale des émissions de GES:
  - 7,9 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> biogaz
  - 194 à 240 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> effluent
  - 156 à 183 kg CO<sub>2</sub> eq/T régimes
- La capture du biogaz peut faire passer de 43 à 62 % le potentiel de réduction des émissions de GES du biodiesel issu d'huile de palme en 2018 (EC, DG Energy and Transport, COWI Consortium final report, December 2009).



# Méthanisation des effluents d'huilerie





# Méthanisation des effluents d'huilerie

- Projet en cours: 3 huileries en Afrique

	2012	2020
<b>Palm plants</b>		
Milling (T FFB/year)	295,000	438,000
POME flow (m <sup>3</sup> /year)	231,500	344,700
COD load (T/year)	15,400	22,900
<b>Methanization system</b>		
Biodigester capacity (m <sup>3</sup> )	37,500	37,500
Methan captured and used (m <sup>3</sup> /year)	3,645,900	5,382,600
Diesel/Kerosene savings (l/year)	2,946,600	4,059,800
	66%	77%
<b>GHG reduction</b>		
CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O avoided (T CO <sub>2</sub> eq./year)	40,500	59,800
Diesel/Kerosene savings (T CO <sub>2</sub> eq./year)	9,400	13,900

# Exemple d'application : compostage des déchets bananiers



$\text{CO}_2$

$\text{CH}_4$

# Compostage des déchets bananiers

- Plantation de 1000 ha de bananiers en Afrique avec à proximité des élevages de volailles et une unité de préparation du cacao.
- Déchets disponibles annuellement :
  - 1700 T hampes bananiers
  - 1900 T refus de triage des bananes
  - environ 2000 T parches de cacao
  - environ 1000 T fumier volaille

# Compostage des déchets bananiers

## ○ Composition des déchets :

Déchets	Hum. (%)	Corg (%MS)	Nt (%MS)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%MS)	K <sub>2</sub> O (%MS)
Hampes et écarts	86,1	38,5	0,82	0,33	8,09
Fumier volailles	20,4	34,7	3,29	6,89	2,53
Parches cacao	12,9	46,7	2,72	0,83	2,94

## ○ Constat : déchets bananiers très humides et pauvres en azote (C/N = 47)

# Compostage des déchets bananiers

- Quelles quantités de parches et de fumier mobiliser pour obtenir un mélange compostable?
  - Humidité 65%
  - $C/N = 35$
- Bilan du potentiel de fertilisation :
  - 222 T azote
  - 195 T phosphate
  - 784 T potasse

**Merci de votre attention**

**CO<sub>2</sub>**

**CH<sub>4</sub>**

# Annexes

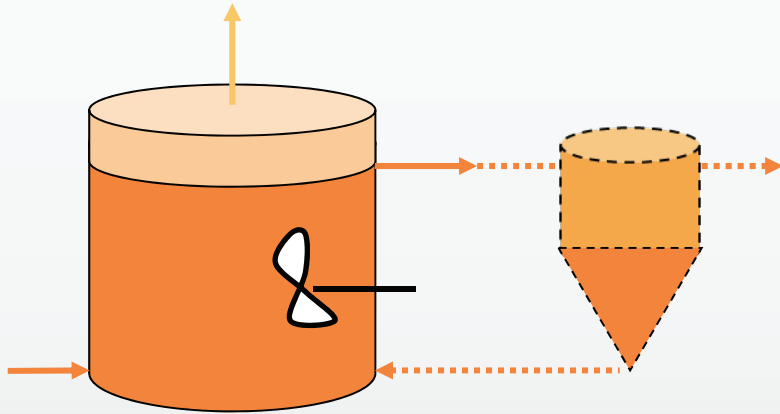
$\text{CO}_2$

$\text{CH}_4$

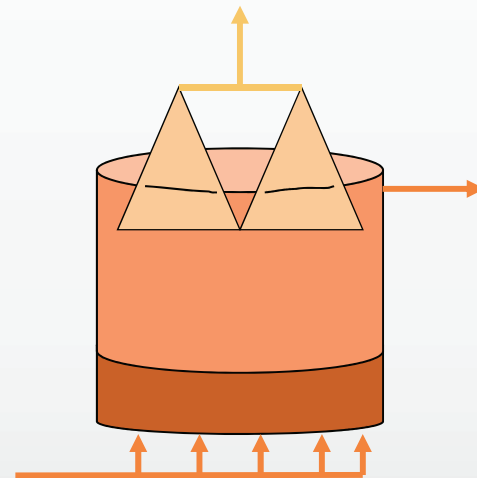
# Digesteurs pour effluents liquides

## ○ Biomasse libre

- Infiniment mélangé



- À lit de boue (UASB, SBR)

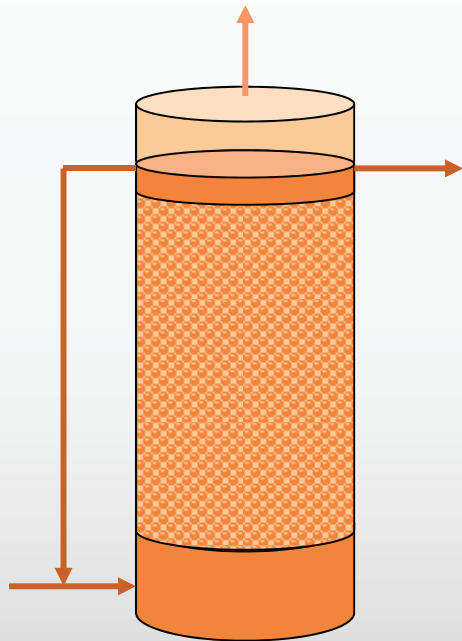




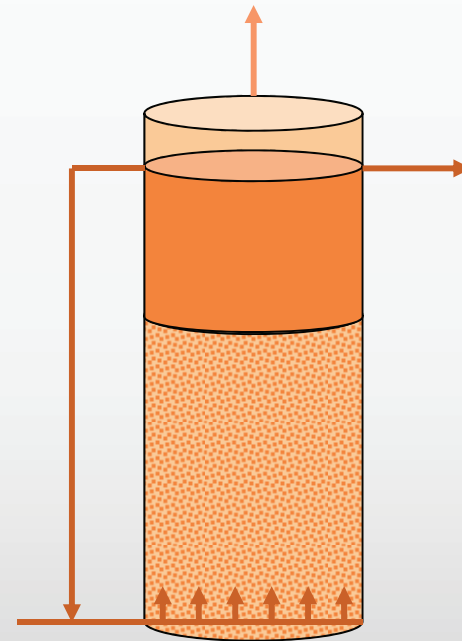
# Digesteurs pour effluents liquides

## ○ Biomasse fixée

### • Filtre anaérobie

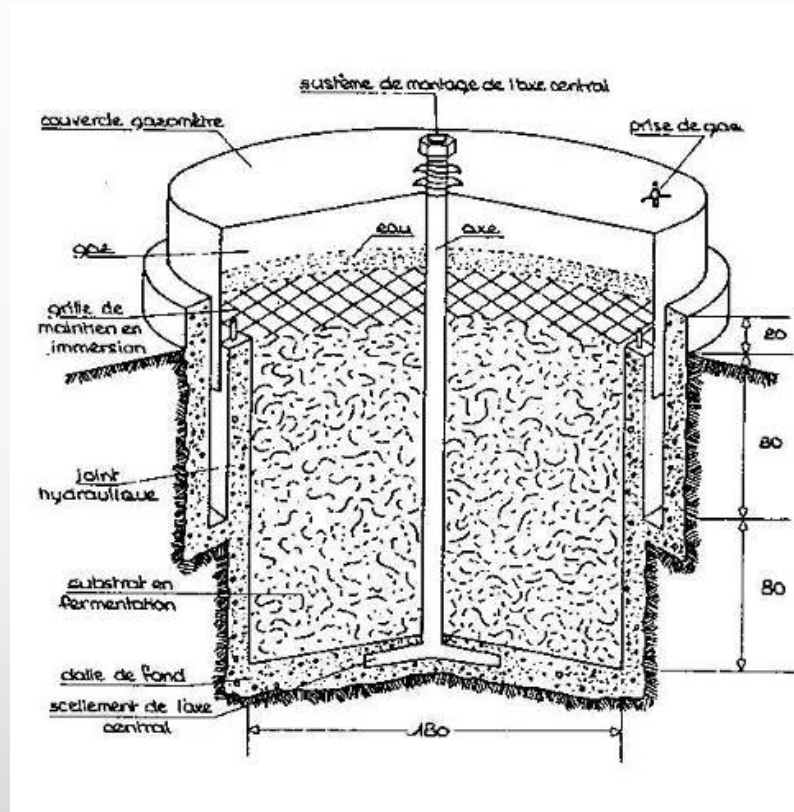


### • Lit fluidisé

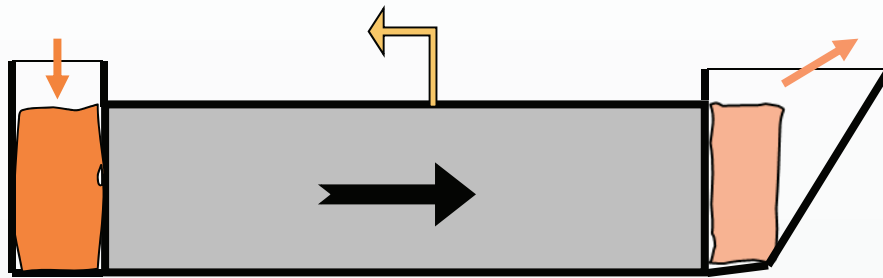


# Digesteurs pour déchets solides

## ○ Cuves en discontinu

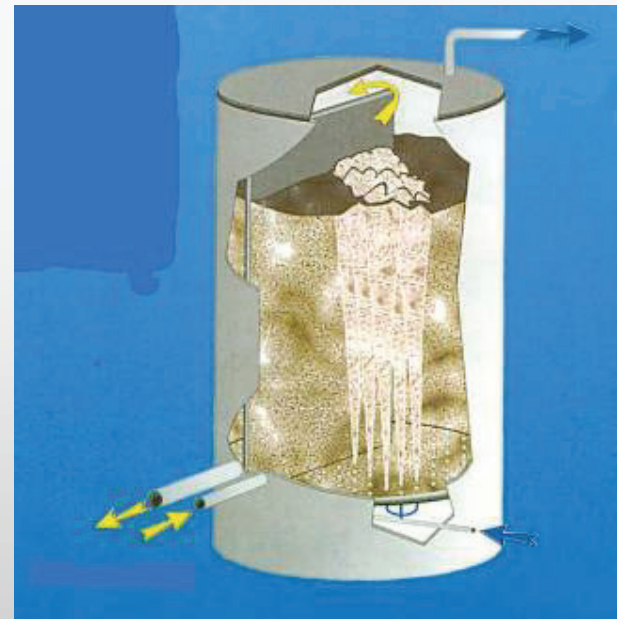


# Digesteurs pour déchets solides



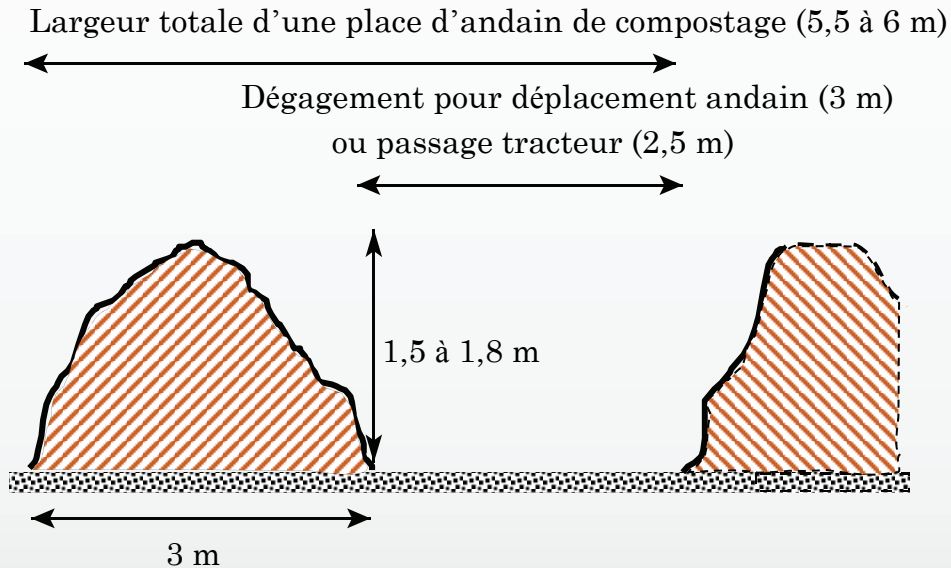
- Continu en réacteur tubulaire (Kompogas, Transpaille, Dranco, BRV)

- Continu à injection de gaz (Valorga, Linde)



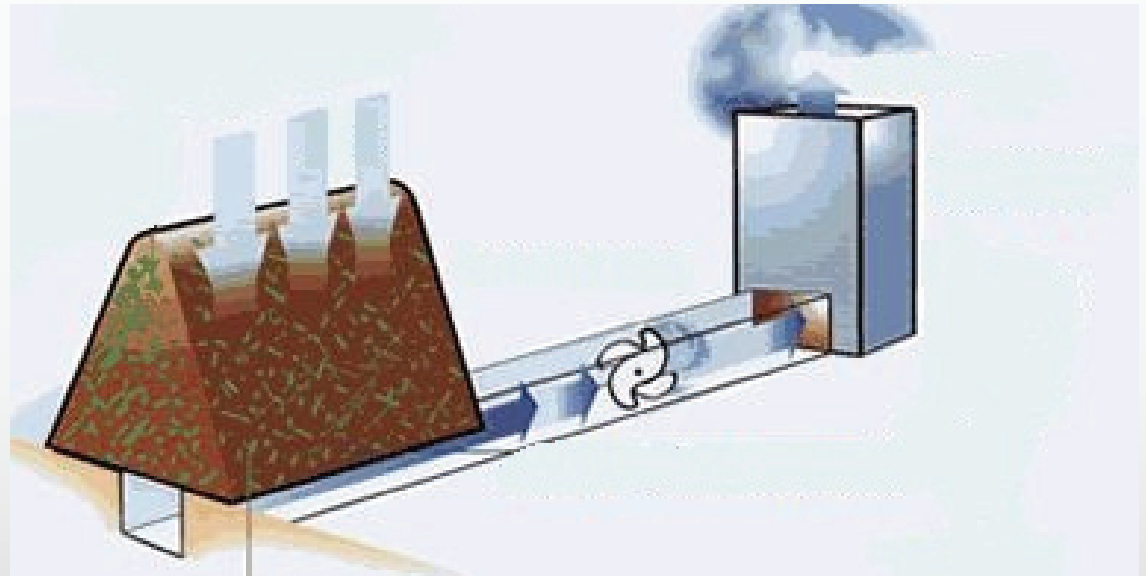
# Le compostage

## ○ Compostage extensif en andains retournés



# Le compostage

## ○ Compostage intensif à aération forcée





# Le compostage

- Compostage en réacteur industriel

